

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-298024

(P2007-298024A)

(43) 公開日 平成19年11月15日(2007.11.15)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**F O 1 D 9/02 (2006.01)** F O 1 D 9/02 1 0 2 3 G O 0 2

審査請求 有 請求項の数 19 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2007-44935 (P2007-44935)  
 (22) 出願日 平成19年2月26日 (2007.2.26)  
 (31) 優先権主張番号 11/417,972  
 (32) 優先日 平成18年5月3日 (2006.5.3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590005449  
 ユナイテッド テクノロジーズ コーポレ  
 イション  
 UNITED TECHNOLOGIES  
 CORPORATION  
 アメリカ合衆国, コネチカット 0610  
 1, ハートフォード, ユナイテッド テク  
 ノロジーズ ビルディング  
 (74) 代理人 100096459  
 弁理士 橋本 剛  
 (74) 代理人 100092613  
 弁理士 富岡 潔

最終頁に続く

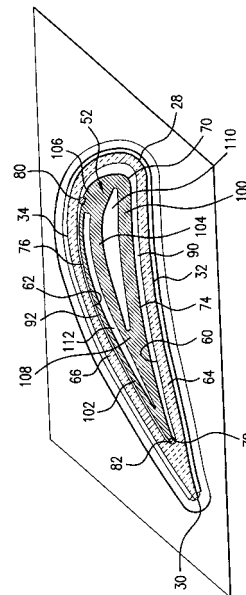
(54) 【発明の名称】 ベーンならびにベーンの製造および設計方法

(57) 【要約】

【課題】熱応力および機械的応力を効果的に低減させるベーンを提供する。

【解決手段】エアfoilのシェルの外側面は、前縁28、後縁30、正圧側32および負圧側34を画定する。シェルの内側面とシェル内における構造的な桁52の外側面との間に設けられたシール80、82により、第1および第2のキャビティ90、92が形成される。桁の内壁104により、桁の内部が第1および第2のチャンバ110、112に分割される。プラットフォームおよびシュラウドのポートから、チャンバに空気が供給され、そこからキャビティ90、92に空気が供給される。異なった圧力および/または温度の空気を2つのチャンバに導入することができるため、熱応力および機械的応力を効果的に低減させるように、キャビティ90、92における空気流量、温度および圧力をより柔軟に選択することが可能となる。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

前縁、後縁、正圧側面および負圧側面を有するエアフォイルのシェルと、  
前記シェル内における桁と、  
前記シェルの外側端部における外側シュラウドと、  
前記シェルの内側端部に内側プラットフォームと、  
を備えるベーンであって、  
前記桁が、  
前記負圧側面に実質的に沿った第 1 のチャンバと、  
前記第 1 のチャンバに対向する、前記正圧側面に沿った第 2 のチャンバと、  
を備えることを特徴とするベーン。

10

## 【請求項 2】

前記エアフォイルのシェルが、実質的にセラミックマトリックス複合材料からなり、  
前記桁が、実質的に第 1 の金属鋳造物からなり、  
前記プラットフォームが、実質的に第 2 の金属鋳造物からなり、  
前記シュラウドが、実質的に第 3 の金属鋳造物からなることを特徴とする請求項 1 に記載のベーン。

## 【請求項 3】

前記桁が、  
前縁と、  
後縁と、  
正圧側面と、  
負圧側面と、  
を有する側壁を備え、  
前記シェルが、前記シェルの正圧側面と負圧側面とを連結する引張ウェブを有していないことを特徴とする請求項 1 に記載のベーン。

20

## 【請求項 4】

前記桁が、  
前縁と、  
後縁と、  
正圧側面と、  
負圧側面と、  
を有する側壁を備え、  
前記桁の第 1 のチャンバが、前記桁の前縁付近から前記負圧側面における前記桁の側壁まで延在する壁によって形成されることを特徴とする請求項 1 に記載のベーン。

30

## 【請求項 5】

前記シェルと前記桁との間に複数のシールをさらに備える請求項 1 に記載のベーン。

## 【請求項 6】

前記複数のシールが、セラミックロープシールおよび金属ベローシールの少なくとも一方を備えることを特徴とする請求項 5 に記載のベーン。

40

## 【請求項 7】

前記複数のシールが、前記前縁の下流における前記負圧側面から、前記後縁または前記後縁の上流における前記負圧側面まで延びるキャビティを画定する第 1 および第 2 のシールを含むことを特徴とする請求項 5 に記載のベーン。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載のベーンを製造する方法であって、  
前記シュラウドを鋳造するステップと、  
前記プラットフォームを鋳造するステップと、  
前記桁を鋳造するステップと、  
前記シェルを形成するように、セラミック繊維のプリフォームにセラミックマトリック

50

スを溶浸させるステップと、  
を含むペーン製造方法。

【請求項 9】

前記桁と前記シェルとの間に複数の翼幅方向のシールが配置されることを特徴とする請求項 8 に記載のペーン製造方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載のペーンを冷却する方法であって、  
第 1 の空気流を前記第 1 のチャンバに導くステップと、  
前記第 1 の空気流と異なった温度および圧力の少なくとも一方を有する第 2 の空気流を前記第 2 のチャンバに導くステップと、  
を含むペーン冷却方法。

10

【請求項 11】

前記第 1 および第 2 の空気流が、前記桁における異なった翼幅方向の端部を介して導入されることを特徴とする請求項 10 に記載のペーン冷却方法。

【請求項 12】

前記第 1 の空気流が、前記第 2 の空気流より低い圧力を有することを特徴とする請求項 10 に記載のペーン冷却方法。

【請求項 13】

前縁、後縁、正圧側面および負圧側面を有するエアフォイルのシェルと、  
前記シェル内における桁と、  
前記シェルの外側端部における外側シュラウドと、  
前記シェルの内側端部に内側プラットフォームと、  
を備えるペーンであって、  
前記桁が、前記桁内に、前記シェルに対する熱的機械的応力を制限する多重チャンバ手段を備えることを特徴とするペーン。

20

【請求項 14】

前記プラットフォームにおける第 1 の空気ポートと、  
前記シュラウドにおける第 2 の空気ポートと、  
をさらに備える請求項 13 に記載のペーン。

【請求項 15】

前記シェルが、セラミックマトリックス複合材 (CMC) であり、  
前記桁が、金属であることを特徴とする請求項 13 に記載のペーン。

30

【請求項 16】

前縁、後縁、正圧側面および負圧側面を有するエアフォイルのシェルと、  
前記シェル内における桁と、  
前記シェルの外側端部における外側シュラウドと、  
前記シェルの内側端部に内側プラットフォームと、  
を有するペーンを設計する方法であって、  
前記シェル内に所望の内部圧力分布をもたらすように前記桁と前記シェルとの間のキャビティに空気流を供給するために、前記桁内に複数のチャンバを形成するステップを含むことを特徴とするペーン設計方法。

40

【請求項 17】

前記方法が再設計であって、前記シェルの断面外形が基準の構成のまま保たれることを特徴とする請求項 16 に記載のペーン設計方法。

【請求項 18】

前記方法が、基準となる構成から再設計された構成への再設計であって、  
正の軸方向応力、負の軸方向応力、正の層間引張応力および負の層間引張応力の作動中の最大絶対値が、全て、前記基準となる構成から前記再設計された構成にかけて、少なくとも 50% 減少することを特徴とする請求項 16 に記載のペーン設計方法。

【請求項 19】

50

前記方法が、基準となる構成から再設計された構成への再設計であって、

前記シェルが、前記基準となる構成から前記再設計された構成にかけて、前記シェルの前方10分の1に沿った少なくとも1つの箇所において薄肉化されることを特徴とする請求項16に記載のペーン設計方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、NASAによって締結された契約NAS3-01138のもとに米国政府の助成を得て行われたものである。米国政府は、本発明に一定の権利を有している。

【0002】

本発明は、タービンエンジンに関する。より詳細には、本発明は、セラミックマトリックス複合材(CMC)製のタービンエンジンペーンに関する。

【背景技術】

【0003】

セラミックマトリックス複合材料(CMC)は、ガスタービンエンジンにおける被冷却の固定ペーン用に提案されてきた。一例として、Morrisson等の米国特許第6,514,046号明細書が挙げられる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ペーンに対する熱負荷が高いと、熱応力、特に、層間の引張応力を最小に抑えるため、薄いシェルを有する構成となる。薄いシェルは、熱応力を制御するには十分に機能するが、シェル内部と外部のガス流との間の圧力差による機械的応力が高くなる。

【0005】

外部の高温ガスの圧力は、前縁から後縁へと急激に低下するが、内部の冷却空気の圧力は、ほぼ一定である。そのため、シェルに亘って大きな圧力差が生じる。この圧力差により、特に負圧側において、シェルが膨張する。圧力差により、層間引張応力および軸方向応力の両方が生じる。これらの応力は、特に前縁において、設計上の最大値を超える場合がある。

【0006】

シェルを強化する一機構としては、シェルの正圧側と負圧側を連結する翼幅(スパン)方向の引張りリブまたはウェブがある。リブは、圧力負荷の一部を支持するとともに、ペーンの膨張を防止する。このようなリブは、全金属製のペーンでは容易に設けることができるが、シェルの一体的な部分としてCMC製のリブを製造するのは困難である。さらに、相対的に低温のリブと高温のシェルとの間に高い引張応力が生じる場合があるため、このような構造が実現しにくくなっている。

【0007】

機械的負荷に対する耐性を改善するために、シェルの厚さを増加させてもよい。しかし、不利なことには、これによって、熱応力が助長されてしまう。したがって、組合せ応力を最小にする最適な壁厚が存在する。高負荷のペーンでは、それでも応力が設計限界を超えることがあり、応力を制御する他の手段が必要となる。

【0008】

さらに、応力を低下させる他の方法は、前縁における最小の曲げ半径を増加させることである。曲げ半径が大きくなると応力集中係数が低下し、したがって、応力が低下する。しかし、エアフォイルの外部形状は、空気力学的性能が最大になるように最適化されており、いかなる変更にも極めて敏感である。その結果、内径だけが増加され、実現可能な応力減少量が制限されてしまう。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様は、エアフォイルのシェルと、このシェル内における桁と、を有するペ

10

20

30

40

50

ーンを含む。ベーンは、シェルの外側端部における外側シュラウドと、シェルの内側端部における内側プラットフォームと、を有する。桁は、実質的に負圧側面に沿った第1のチャンバと、第1のチャンバに対向する、正圧側面に沿った第2のチャンバと、を有する。

【0010】

添付図面および以下の記載により、本発明の1つまたは複数の実施形態の詳細を説明する。本発明の他の特徴、目的および利点は、実施例、図面および特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【0011】

図面における数字および符号が同じ場合には同じ要素を示している。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0012】

図1は、ベーン20を図示しており、ベーン20は、内側のプラットフォーム24における内側端部から外側のシュラウド26における外側端部まで延びるエアfoil22を有する。エアfoil22は、前縁28、後縁30、ならびに前縁と後縁との間に延在する正圧側面32および負圧側面34を有する。例示したプラットフォームおよびシュラウドは、円環の一部であり、このようなシュラウドおよびプラットフォームの端部を互いに密着/結合させることにより、周方向のベーンの列が形成される。

【0013】

例示的なベーン20は、シュラウド、プラットフォームおよびエアfoilを別々に形成して、互いに固定したアッセンブリである。図1~3では、薄い壁部を有するシェル50と、該シェル内における構造的な桁52と、を備えたエアfoilが図示されている。例示的なシェルの材料は、セラミックマトリックス複合材料(CMC)である。シェルは、様々なCMC作製方法によって製造することができる。前記方法には、通常、セラミック繊維(例えば、SiC)のプリフォームをエアfoil形状に成形すること(例えば、編織または他の技法によって)、およびプリフォームにマトリックス材(例えば、SiC)を溶浸(インフィルトレーション)させることが含まれる。溶浸に先立って、マトリックスとの接着を制限するために、プリフォームにコーティングを施してもよい(例えば、化学蒸着法(CVD)によるBNで)。例示的な溶浸法には、化学気相析出法、スラリー溶浸焼結法(slurry infiltration-sintering)、ポリマー含浸-熱分解法(polymer-impregnation-pyrolysis)、スラリーキャスト法、熔融溶浸法(melt infiltration)が含まれる。例示的な桁の材料は、金属合金(例えば、鋳造ニッケルベースの超合金)である。内側シール53および外側シール54は、それぞれシェルの内側端部55と隣接するプラットフォームとの間、および外側端部56と隣接するシュラウドとの間をシールする。

20

30

【0014】

桁52の外側端部40(図2)は、シュラウド26に取り付けられる。図2の例では、この外側端部40は、面42によって形成された開口部に受容されて、溶接される。ねじ付きスタッド44は、桁52の内側端部に形成され、面45によって形成されたプラットフォーム24の開口部を通して延びている。ナット46および座金47は、スタッドおよびプラットフォームの内側面に係合し、桁52の肩部48は、プラットフォームの肩部49と接合する。このように、桁52によって、シュラウド26とプラットフォーム24との間における主要な機械的連結部分が形成される。

40

【0015】

シェルは、桁に対して、複数の機構のうち1つまたは複数の機構によって位置決めされる。シェルのフランジ(端部)55, 56は、適切なプラットフォームのチャンネル57(図1)、およびシュラウドのチャンネル58(図2)によってそれぞれ位置決めされる。シール53, 54などのスペーサまたはシール/スペーサユニットが、桁とシェルとの間に配置される。

【0016】

シェルの外側面(図3)は、前縁28、後縁30、正圧側面32および負圧側面34を画定する。シェルの内側面は、正圧側面に沿った第1の部分60と、負圧側面に沿った第

50

2の部分62と、を有する。前記第1および第2の部分により、隣接する正圧側壁部64および負圧側壁部66がそれぞれ画定され、正圧側壁部64および負圧側壁部66は、前縁においては直接的に一体となり、後縁においては後縁に向かって次第に一体となる。

【0017】

桁52の外側面は、シェルの内側面に対して近接離間して対面している。したがって、桁の外側面は、前縁70、後縁72、正圧側部分74および負圧側部分76を有する。1つまたは複数のシール80, 82が、桁の外側面とシェルの内側面との間において概ね翼幅(スパン)方向に延びて配設されている。例示的な2つのシールにより、シェルと桁との間のキャビティが、第1のキャビティ90と第2のキャビティ92とに分割される。キャビティ90, 92には、桁52内のチャンバ/キャビティ/プレナム(以下で説明)から空気が供給される。

10

【0018】

例示的な桁52は、正圧側部分100および負圧側部分102を備えた側壁を有する。例示的な桁52は、内壁部104を有し、この内壁部104は、桁の前縁に隣接した桁の側壁と連結している第1の連結部106から、桁の正圧側面100の後縁部分に沿った桁の側壁と連結している第2の連結部108まで延びている。したがって、この内壁部104により、桁の内部が、第1のチャンバ110と第2のチャンバ112とに分割される。

【0019】

例示的な第1のチャンバ110は、実質的に、桁の正圧側面の半分以上に亘って延びている。例示的な第2のチャンバ112は、桁の負圧側面のほぼ全体に亘って延びている。これらのチャンバ110, 112は、桁の側壁に配設された微小な開口部の列(図示せず)を介して、隣接するキャビティ90, 92に冷却空気を供給する。キャビティ90, 92に導入された空気は、実質的に下流方向に(後縁に向かって)流れ、シェルの後縁出口(図示せず)から流出する。したがって、このような流れのため、空気は1つまたは両方のシールから漏出する(例えば、キャビティ90からの空気はシール80から漏出する)。

20

【0020】

チャンバ110, 112には、プラットフォームおよびシュラウドの一方または両方における対応のポートを介して冷却空気が供給される。図2には、第2のチャンバ112に空気を供給するプラットフォームの第1のポート114と、第1のチャンバ110に空気を供給するシュラウドおよび桁の外側端部の第2のポート116と、が図示されている。以下に説明するように、異なった圧力および/または温度の空気を2つのチャンバ110, 112に導入することができるため、熱応力および機械的応力を効果的に低減させるように、キャビティ90, 92における適切な空気流量、温度および圧力をより柔軟に選択することが可能となる。

30

【0021】

図4は、シェルに沿った例示的な翼幅方向位置における、流れ方向の圧力分布を示す。エアfoilの正圧側面32に沿った外部圧力を420、負圧側面34に沿った外部圧力を422として示す。前縁28において、これらの圧力は、よどみ点圧力に統合される。内部圧力は、桁の開口部を通るときに絞られることに鑑みて、冷却供給圧力の関数であり得る。シール80, 82、および複数のチャンバを有する桁が存在しない場合には、内部圧力は、シェルの正圧側面および負圧側面に亘って実質的に一定となる(例えば、流れ損失による上流から下流への僅かな減少を伴う)。例えば、内部圧力をよどみ点圧力より僅かに高くする(例えば、シェルにクラックが生じた場合に高温ガスを吸い込むのを回避するために2~3%)。しかし、内部圧力と外部圧力との差により、シェルの設計閾値を超える機械的応力(および熱応力)が生じてしまう。

40

【0022】

桁とシェルとの間における複数のキャビティ90, 92を形成するシール80, 82を備えることにより、シェルにおける異なった位置において、異なった内部圧力を維持することが可能になる。異なった空気が(例えば、異なった温度および/または圧力で)供給

50

される桁のチャンバ 110, 112 を介してキャビティに空気を供給することによって、キャビティに沿ったシェルの冷却量から各キャビティ 90, 92 内の圧力を少なくとも部分的にさらに切り離すことにより、付加的な柔軟性がもたらされる。例えば、例示的な図 3 の形態では、シェルの正圧側部分の全体が第 1 のキャビティに沿っているため、正圧側の内部圧力 424 は、実質的に一定に保たれる。しかし、負圧側の内部圧力 426 は、第 2 のキャビティと関連する領域において低下する。これにより、この負圧側内部圧力 426 が、機械的応力成分を低減させるように、外部圧力 422 に対してより緊密に対応することができる。図 4 では、内部圧力に関する前縁からの距離は、桁の外面に沿った距離である。

#### 【0023】

そのような圧力分布を実現するために、一実施例においては、第 2 のチャンバ 112 への圧力を、第 1 のチャンバ 110 への圧力より低くすることができる。例えば、例示的な圧力差は、少なくとも 5 psi (例えば、5 ~ 50 psi、より具体的には、5 ~ 10 psi) である。百分率換算では、この圧力差は、少なくとも 1.5% (例えば、1.5 ~ 15%) である。他の任意選択的な同様の例では、第 2 のチャンバ 112 には、1 つまたは複数の相対的に前方 / 上流側の圧縮機の段から抽気を行い、第 1 のチャンバ 110 には、圧力および温度がより高い後方 / 下流側の圧縮機の段から抽気を行ってもよい。

#### 【0024】

図 5 は、別の実施例の桁 140 を図示しており、この桁 140 は、正圧側部分 142 および負圧側部分 144 を有する側壁を備える。例示的な桁 140 は、内壁部 146 を有し、この内壁部 146 は、桁の前縁に隣接した桁の側壁と連結している第 1 の連結部 148 から、負圧側面 144 に沿った桁の側壁と連結している第 2 の連結部 150 まで延びている。この内壁部 146 により、桁の内部が、第 1 のチャンバ 152 と第 2 のチャンバ 154 とに分割される。例示的な第 1 のチャンバ 152 は、実質的に、正圧側全体に亘っており、かつ僅かに負圧側の前縁および後縁部分に亘って延びている。例示的な第 2 のチャンバ 154 の全体は、実質的に桁の負圧側に亘って延びている。これらのチャンバ 152, 154 により、隣接するキャビティ 156, 158 に冷却空気が供給される。例示的なキャビティは、シール 160, 162 によって分割され、図 3 の実施形態の各キャビティと同様に空気が供給される。第 1 のシール 160 は、前縁から僅かに負圧側に配置されている。第 2 のシール 162 は、負圧側に沿った中間位置 (例えば、負圧側に沿って流れ方向の長さの約 50% ~ 70%) に配置されている。

#### 【0025】

図 6 は、図 5 のエアfoilに関する正圧側の内部圧力 430 および負圧側の内部圧力 432 を示している。第 2 のシール 162 が存在することによって、負圧側圧力 432 が急激な上昇 434 を示し、第 2 のシール 162 の下流における正圧側の分布に実質的に同化する。

#### 【0026】

さらなる変更形態として、図 7 には、図 5 と同様のシェルおよび桁を有するエアfoilが図示されているが、このエアfoilは、より多くのキャビティを形成する多数のシールを備えている。図 7 の実施例では、シール 180, 182 は、図 5 のシール 160, 162 と同様に配置されている。しかし、関連するキャビティの各々は、正圧側面に沿ったシール 184, 186, 188, 190 のグループ、および負圧側面に沿った例示的な単一のシール 192 によって、さらに分割されている。したがって、キャビティ 156 (図 5) が、一連のキャビティ 200, 202, 204, 206, 208 に、キャビティ 158 (図 5) が、1 対のキャビティ 210, 212 にそれぞれ変更されている。他の変更形態には、シール 180, 182 の位置変更や桁のチャンバの構成変更が含まれる。シールの配置、シールの封止係合の堅牢性 (制御下での漏洩を含む)、および桁のチャンバからの供給孔の分布によって、各キャビティ内および各キャビティに沿った圧力分布をさらに調整することが可能となる。

#### 【0027】

10

20

30

40

50

図 8 には、基本的な外部圧力 4 2 0 , 4 2 2 が示されている。図 7 のエアフォイルの正圧側の内部圧力 4 6 4 および負圧側の内部圧力 4 6 6 は、図 6 の圧力に比べて、より多くの段階（ステップ）を示している。これらの段階は、キャビティからキャビティへの移行に対応しており、シェルの壁部に亘る圧力差をさらに低下させるように、関連する外部圧力に対して圧力分布をより緊密に対応させることが可能となる。

#### 【 0 0 2 8 】

本発明は、所与のペーンを再設計する際に実施可能である。再設計は、シェルの基本的な外部形状を保つことができる。再設計は、内部形状を保つこともできる。ただし、実現可能な応力軽減に鑑みて、壁の薄肉化を含む内部変更がとりわけ適切である。このようにして、再設計は、また、引張りブ/ウェブ、局所的な肉厚領域など、他の内部強化特徴部を排除することができる。また、再設計は、桁の構造をより実質的に変更することができる。適切な桁のチャンバを設けることに加えて、再設計は、複数部片の桁を、単一部片の桁に置き換えることができる。再設計は、単一の桁と非構造的な充填部品の組合せを、単一の桁に置き換えることができる。再設計されたペーンは、所与のガスタービンエンジンの再生に使用することができる。

10

#### 【 0 0 2 9 】

再設計の予測例として、図 9 は、よどみ点圧力より僅かに高い実質的に一定な内部圧力を有する基準となるエアフォイルのシェルの前縁部分に沿った軸方向の応力を示す。図 10 は、層間の引張応力を示す。

#### 【 0 0 3 0 】

図 11 および図 12 は、基準となるペーンの圧力分布に対して内部圧力が 30% 低下した、対応する軸方向応力および層間の引張応力をそれぞれ示す。応力の最大値が、大幅に減少していることが分かる。

20

#### 【 0 0 3 1 】

本発明の 1 つまたは複数の実施形態について説明してきた。しかし、本発明の精神および範囲から逸脱することなく、様々な変更を加えることができることは理解されよう。例えば、既存のペーン構成の再設計（例えば、エンジンの再生またはエンジン構成の再設計の一部として）として実行される際、基準のエンジン構成またはペーン構成の細部が、個々の実装形態の細部に影響を及ぼし得る。したがって、他の実施形態も、添付の特許請求の範囲に包含される。

30

#### 【 図面の簡単な説明 】

#### 【 0 0 3 2 】

【 図 1 】タービンペーンの図。

【 図 2 】図 1 のペーンの翼幅方向の断面図。

【 図 3 】図 1 のペーンのエアフォイルの流れ方向断面図。

【 図 4 】図 3 のエアフォイルに関する圧力分布図。

【 図 5 】他の実施例のエアフォイルの流れ方向断面図。

【 図 6 】図 5 のエアフォイルの圧力分布図。

【 図 7 】第 2 のエアフォイルの流れ方向断面図。

【 図 8 】図 7 のエアフォイルの圧力分布図。

40

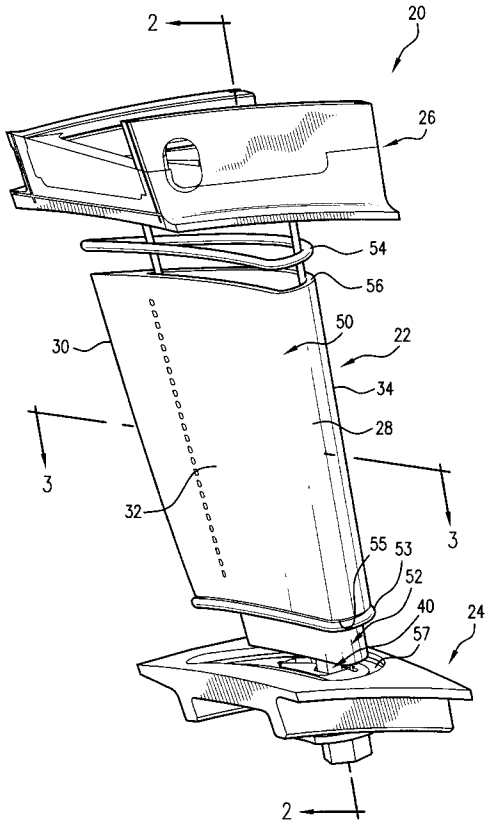
【 図 9 】基準のエアフォイルに関する軸方向応力のプロット図。

【 図 10 】基準のエアフォイルに関する層間の引張応力のプロット図。

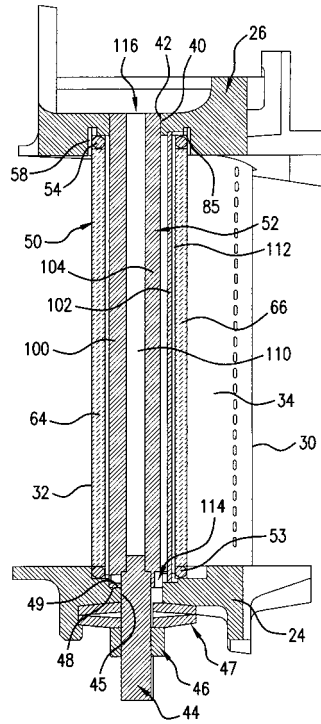
【 図 11 】再設計されたエアフォイルに関する軸方向応力のプロット図。

【 図 12 】再設計されたエアフォイルに関する層間の引張応力のプロット図。

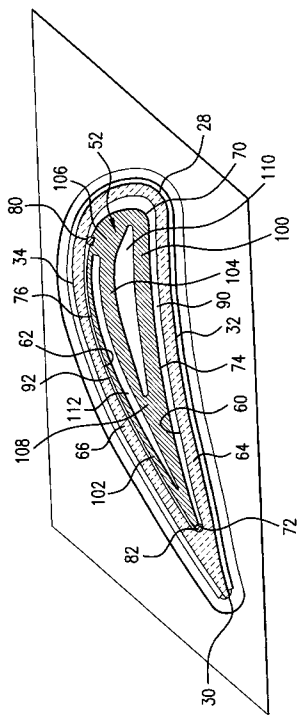
【 図 1 】



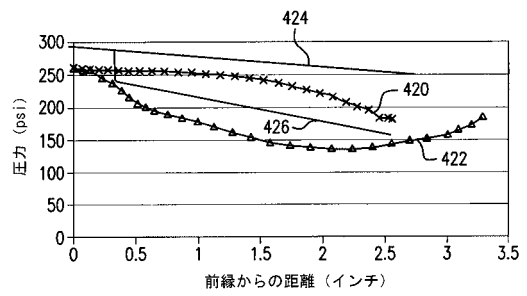
【 図 2 】



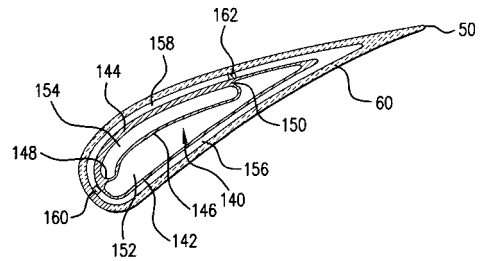
【 図 3 】



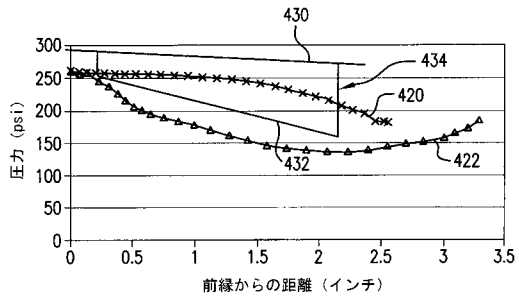
【 図 4 】



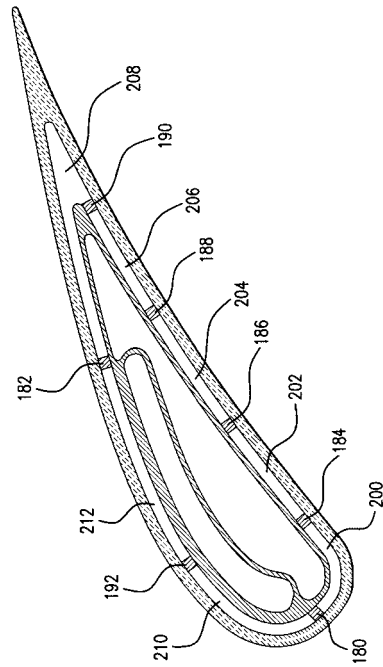
【 図 5 】



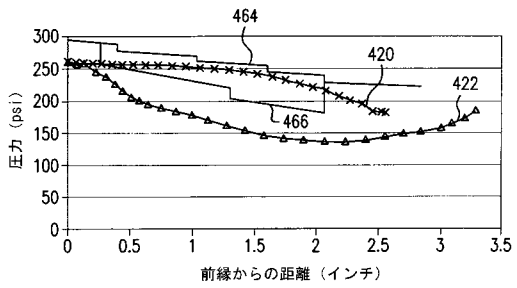
【 図 6 】



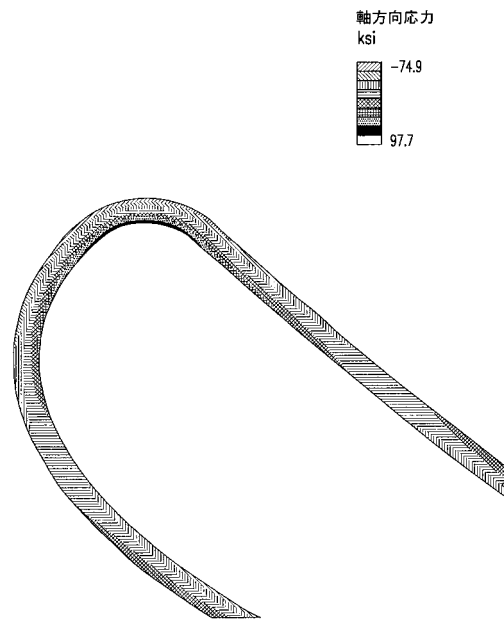
【 図 7 】



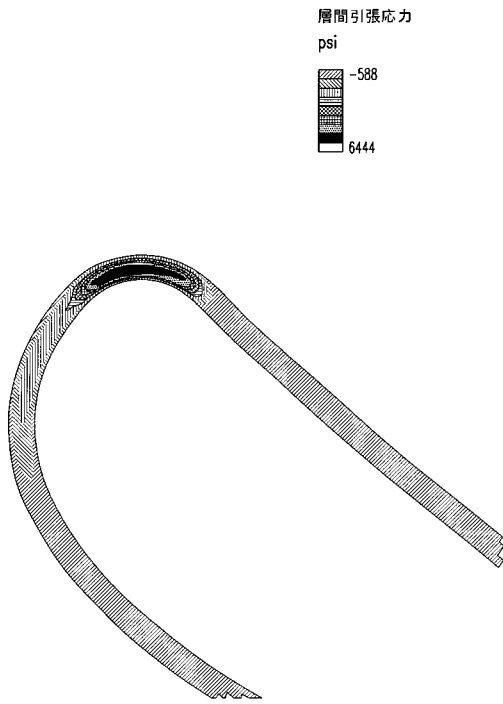
【 図 8 】



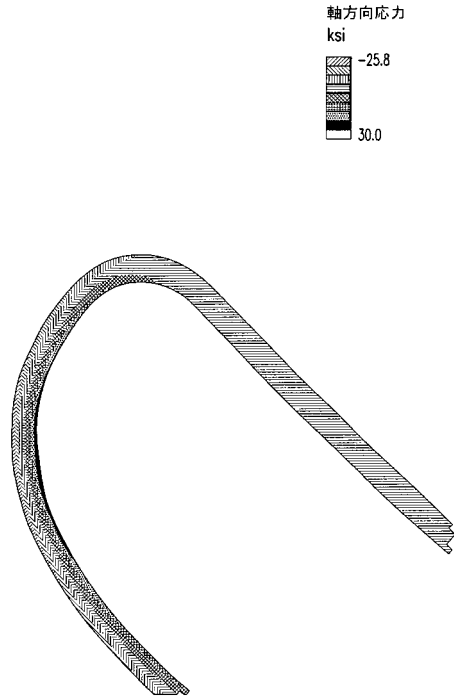
【 図 9 】



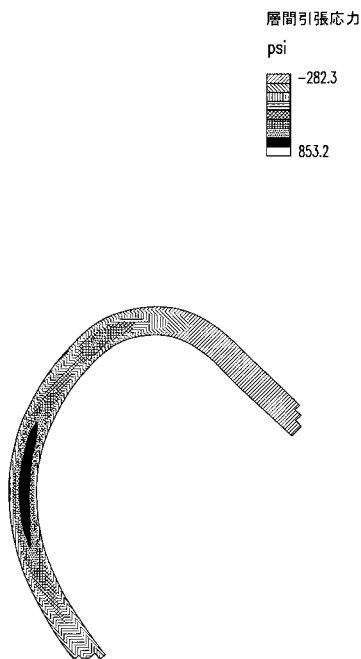
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ジュン シ  
アメリカ合衆国, コネチカット, グラストンベリー, スティーブンズ レーン 125
- (72)発明者 スチュアート エス. オックス  
アメリカ合衆国, コネチカット, マンチェスター, バックランド ストリート 39, アパートメント 1032-2
- (72)発明者 ケビン イー. グリーン  
アメリカ合衆国, コネチカット, ブロード ブルック, メルローズ ロード 222
- (72)発明者 デービッド シー. ジャーモン  
アメリカ合衆国, コネチカット, ケンジントン, ブルー リッジ ロード 44
- (72)発明者 マイケル ケー. サーム  
アメリカ合衆国, コネチカット, エイボン, ザカリー ドライブ 25
- (72)発明者 リサ エー. プリル  
アメリカ合衆国, コネチカット, グラストンベリー, ショディー ミル ロード 203
- Fターム(参考) 3G002 GA08 GA10 GB01 GB04